

تصميم المثبتات المحقونة بالضغط

Design of Pressure Grouted Anchors

- تقنيات الإنشاء • البيانات التجريبية • خطوات العمل
- المتدرجة • دقة ومحدودية الطريقة

يتبع هذا الفصل المبادئ الأساسية التي طورها كل من بوستمانتي وديكس

(Bustamante and Doix (1985)

(١٣, ١) تقنيات الإنشاء CONSTRUCTION TECHNIQUES

يتكون المثبت المحقون بالضغط من قضيب فولاذي سابق الإجهاد موضوع داخل ثقب الحفر ذي قطر صغير ثم تحقن التربة أو الصخور حوله بمادة أسمنتية سائلة بالضغط (شكل رقم ١٣٤). ويتغير عادة قطر ثقب الحفر ما بين ٨٠ و ١٥٠ ملم. يطلق على العوامل المؤثرة على قدرة تحمل المثبت في تربة ما بطريقة الحقن، عدد مرات الحقن التي تعرض لها المثبت N_i ، وحجم مونة الحقن V_i ، وضغط الحقن الفعال p_i ، ومعدل تدفق الحقن Q_i ، وجودة الحقن.

يمكن تصنيف طرق الحقن إلى طريقتين أساسيتين هما : الطرق التي تسمح للحقن بالتكرار والاختيار (IRS) والطرق الذي يكون فيه الحقن موحداً وشاملاً (IGU). ومثال طريقة (IRS) هو تقنية أنبوب مانشيتز، حيث إن هذه التقنية تتكون من

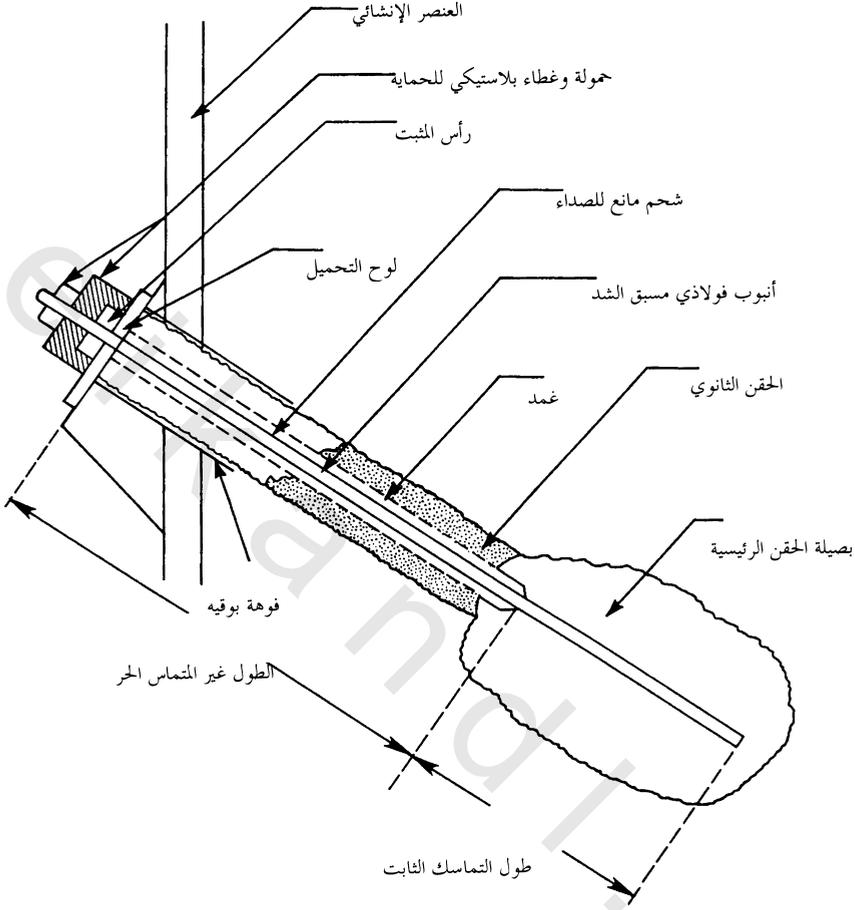
حقن المونة خلال أنبوب مركب به سلسلة من الصمامات ذات اتجاه واحد. ويمكن الدخول لكل صمام على حده مما يسمح باختيار طريقة الحقن، وأيضا لعد كل خطوة حقن يمكن أن تكسر المادة المحقونة الطريقة بحقن جديد. ويؤدي تكرار الحقن إلى زيادة قدرة التحمل. ومثال على طريقة IGU هو حقن المونة تحت ضغط عند رأس المثبت فقط، وفي هذه الحالة فإن الحجم الكلي للحقن يحقن دفعة واحدة.

يتم حقن الحجم الضروري V_i في حالة طريقة IRS في التربة الطينية والرملية والحصى على ثلاث مراحل، يحقن في المرحلة الأولى $V_i/2$ بينما يحقن $V_i/4$ في المرحلة الثانية ويحقن مرة أخرى $V_i/4$ في المرحلة الثالثة. يجب أن يكون الوقت بين المراحل ما بين ١٠ و ٤٨ ساعة. أما في الصخور فإن الشائع لهذه الطريقة أن يحقن الحجم الضروري في مرحلتين، حيث يتم حقن غالبية الحجم V_i خلال المرحلة الأولى. وربما يتجاوز حجم الحقن المقدر في الصخور المصدّعة.

إن ضغط الحقن P_i هو الضغط المقاس عند رأس المثبت لكلا الطريقتين IRS و IGU وفي معظم الأحيان يكون الضغط لطريقة IGU على الأقل ٥٠٠ كيلو باسكال كافية للتأكد من أن قدرة المثبت أعلى من القدرة للمثبتات التي توضع بها مونة الحقن بالجاذبية الأرضية فقط. وفي طريقة IRS للتربة الطينية والرملية والحصى فإن الضغط p_i يجب أن يكون مساوياً أو أعلى قليلاً من الضغط النهائي p_i ، حيث إن هذه الطريقة تؤدي إلى الحصول على قدرة أعلى من طريقة IGU وبناء عليه أعلى من طريقة الجاذبية الأرضية. ليس من الضروري أن تكون الحالة مماثلة في طريقة IRS للصخور؛ حيث إن الحقن بالجاذبية أو بطريقة IGU فأنها تؤدي إلى قدرات متماثلة. يستخدم الضغط العالي أكثر في أغراض التأكد من الجودة. وخلاصة ذلك فإن القاعدة البسيطة يمكن أن تكون كالتالي:

$$(٣٥٦) \quad \text{IRS} \quad \text{للمثبتات من نوع} \quad p_i \geq p_L$$

$$(٣٥٧) \quad \text{IGU} \quad \text{للمثبتات من نوع} \quad 0.5 p_L < p_i < p_L$$



شكل رقم (١٣٤). نموذج مثبت أرضي (from Cheney, 1988).

ومن الممكن أن يؤثر معدل تدفق حقن المونة اللينة Q_i على النتائج. ويتضح أنه عندما تقل معدلات التدفق فإن جودة المثبتات تزداد. وتؤدي المعدلات التالية إلى جودة عالية للمثبتات وهي كالتالي :

للترية المتماسكة	٠,٣ إلى ٠,٦ م ^٣ / ساعة
للترية غير المتماسكة.	٠,٨ إلى ١,٢ م ^٣ / ساعة

(١٣, ٢) البيانات التجريبية EXPERIMENTAL DATA

البيانات العملية التي جمعها بوستمانتي وديكس (Bustamante and Doix, 1985) شاملة، حيث إنها تتكون من ٩٤ اختباراً بالحجم الطبيعي أجريت في معمل Laboratoires des Ponts et Chaussees (LPC) لـ ٣٤ موقعا في فرنسا بالإضافة إلى ١١٩ اختباراً بالحجم الطبيعي جمعت من المراجع والمجموع الكلي هو ٢١٣ اختباراً. ويشير جدول رقم (٢٨) إلى مصادر البيانات العملية. أما جدول رقم (٢٩) فإنه يقدم الخصائص العامة للمثبتات والتي تم اختبارها في معمل LPC.

اتبعت طريقة قياسية لإجراء جميع هذه الاختبارات (1977 - TA77) في معمل LPC. وتتكون هذه الطريقة من الخطوات التالية :

١. تحديد الحمل T_G المناظر لنقطة الخضوع للقضيب سابق الإجهاد.
٢. يحمل المثبت الأول تحت الشد بخطوات تحميل تساوي $0.1 T_G$ ومدة كل خطوة ساعة إلى أن يصل إلى الحمل النهائي المساوي $0.9 T_G$ وتسجل الإزاحة خلال كل خطوة.
٣. يحدد من هذا الاختبار حمل الزحف T_C والحمل الأقصى T_L . ويعرف حمل الزحف بأنه نقطة الانكسار في منحنى الحمل مقابل ميل الإزاحة/الوقت خلال كل خطوة تحميل (شكل رقم ١٣٥).

٤. يتم باستخدام هذه القيم اختيار قيمة خطوات التحميل المستخدمة في المثبت الثاني وكذلك حمل الزحف والذي يتم عنده التأكد للمثبت الثاني في خلال الفترة من ٢٤-٧٢ ساعة.

٥. يتم اختيار الحمل المسموح به T_A للمثبت بعد تحليل نتائج اختبار المثبتين.

جدول رقم (٢٨). بيانات معملية على المثبتات (Bustamante & Doix, 1985).

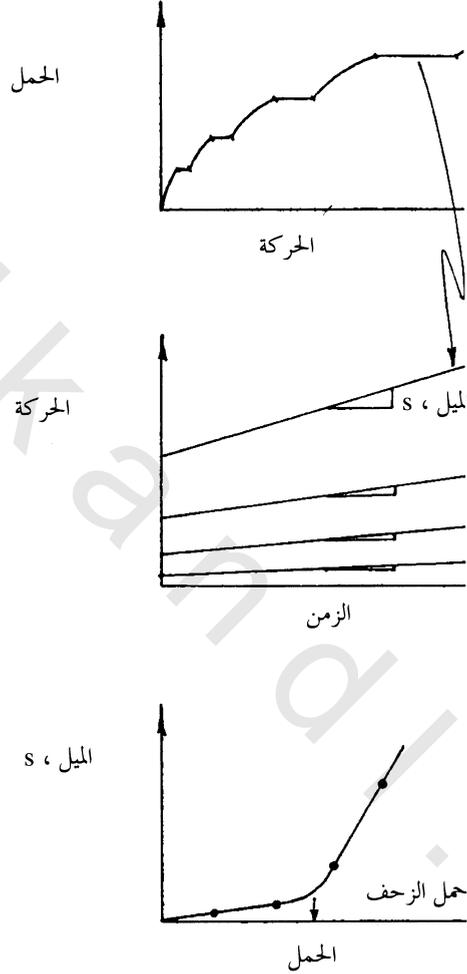
عدد المثبتات	عدد المواقع	الباحثين
٩٤	٣٤	Laboratoires des Ponts et Chaussees (Bustamante & Doix, 1985)
٨٧	غير معطى	Ostermayer & Scheele, 1977
٢٤	غير معطى	Fujita et al., 1984
٨	١	Jones & Spencer, 1984
٢١٣	٣٥ <	المجموع

جدول رقم (٢٩). خصائص المثبتات المختبرة من قبل LPC (Bustamante & Doix, 1985).

الأبعاد	
المتوسط ٢٠,٥	الطول الكلي L_T (متر)
الأقصى ٧ إلى ٤٦	
المتوسط ٧,٧٥	طول الانتحام L_S (متر)
الأقصى ٥ إلى ١٨	
المتوسط ١٣٢	قطر ثقب الحفر (ملم)
الأقصى ٩٥ إلى ١٧٠	

إن جميع الاختبارات التي أجريت في معمل LPC لم تصل إلى T_L ولكن ٦٤٪ منها تم فيها الوصول إلى T_L . وتوزع النسبة لكل صنف من التربة على النحو التالي :
 طمي وطين : ٨٤٪ من المثبتات المختبرة في هذه التربة تم الوصول إلى T_L .
 حصى ورمل : ٧٠٪ من المثبتات المختبرة في هذه التربة تم الوصول إلى T_L .
 حجر كلسي طباشيري وطين جيرى : ٦٥٪ من المثبتات المختبرة في هذه التربة تم الوصول إلى T_L .

صخر متفكك : ٥٪ من المثبتات المختبرة في هذه الصخور تم الوصول إلى T_L .



شكل رقم (١٣٥). تحديد حمل الزحف للمثبت.

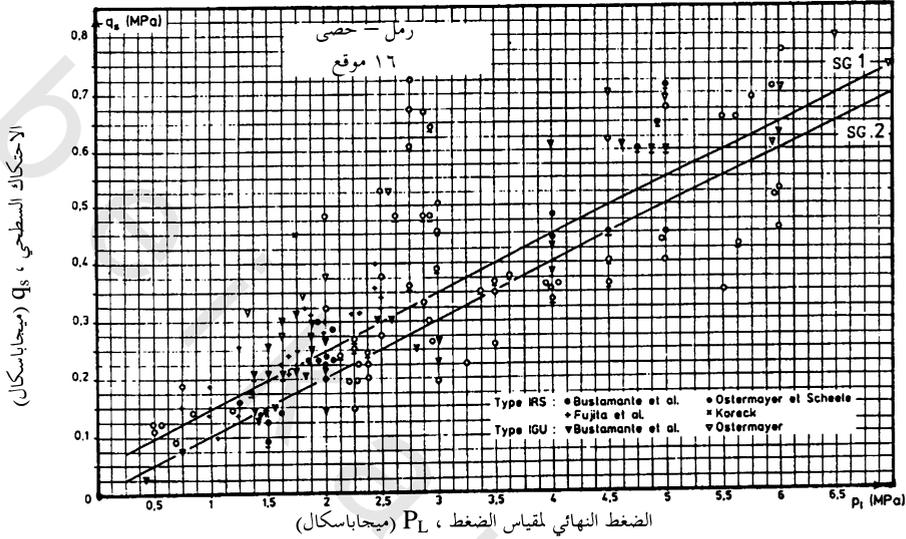
ونظرا لقلّة نسبة الصخور فإن التوصيات تكون متحفظة في هذا الصنف ، ولقد تم تجهيز ١٤ من المثبتات المختبرة في معامل LPC تجهيزاً كافياً لقياس وحدة الاحتكاك السطحي على طول التماسك ، أما الاختبارات الأخرى فقط أعطت قيمة متوسطة لوحدة الاحتكاك السطحي.

تضمنت اختبارات التربة التي أجراها معمل LPC للمواقع المذكورة على اختبارات مقياس الضغط، واختبارات الاختراق المخروطي، واختبارات الاختراق المعياري واختبارات معملية. ومن الممتع أن نلاحظ أن نتائج اختبارات مقياس الضغط في ٣٣ موقعاً من ٣٤ موقعاً كانت جيدة ومفيدة (٩٧٪)، وفي نتائج اختبارات الاختراق المعياري كانت لـ ٢٤ موقعاً (تقديراً) من ٣٤ موقعاً (٧٠٪)، و ١٧ موقعاً لنتائج اختبارات الاختراق المخروطي من ٣٤ موقعاً (٥٠٪)، أما نتائج الاختبارات المعملية فقد كانت لـ ٢٣ موقعاً (تقديراً) من ٣٤ موقعاً (٦٧٪). يوضح هذا أنه عند الرغبة في اختيار طريقة واحدة لجميع أنواع التربة والصخور فإن مقياس الضغط هو المرشح لذلك. وبالإضافة إلى ذلك فإن نتيجة التشابه بين تمدد الأنبوب الأسطواني وتمدد الحقن البصلي للمثبت يمكن تأسيس معيار تحكم مفيدة لضغط الحقن.

تم تأسيس علاقات بين وحدة الاحتكاك السطحي q_s والضغط النهائي لمقياس الضغط p_L ، وأعيد حساب وحدة الاحتكاك السطحي الموجود عند سطح التماس بين التربة ومؤنة الحقن. وبمعنى آخر فقد استخدم قطر مؤنة الحقن البصلي D_s والمقاس بعد استخراج المثبت في إعادة الحسابات وليس قطر ثقب الحفر الابتدائي. وهذه العلاقات موضحة في الأشكال أرقام (١٣٦ - ١٣٩). فللتربة الرملية والحصى (SG)، الطينية والطينية (CS)، الطين الجيري الطباشيري والحجر الطيني (ML) والصخور (R) ويرمز الرقم ١ في كل شكل على طرق IRS، بينما يرمز الرقم ٢ لطرق IGU. كما تشير الرموز التي لها خط بأسفلها إلى المجالات التي لم تصل فيها قيمة وحدة الاحتكاك السطحي إلى القيمة القصوى خلال اختبار التحميل.

(١٣، ٣) خطوات العمل المتدرجة STEP-BY-STEP PROCEDURE

الخطوة الأولى لتصميم المثبت هو تحديد اتجاه المثبت والحمل T_A المقاوم من قبل المثبت والتي يتم الحصول عليها بتقدير الضغوط المؤثرة على المنشأة والمسافات بين المثبتات.

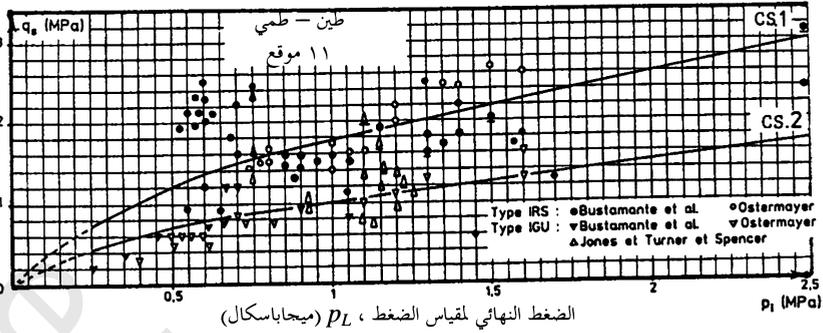


شكل رقم (١٣٦). العلاقات للتربة الرملية والحصى (from Bustamante and Doix, 1985).

الخطوة الثانية هي تحديد المقطع العرضي S_a للقضيب الفولاذي المسبق الإجهاد والطول غير الملتهم مع التربة، حيث يتم حساب المقطع العرضي باستخدام جزء من إجهاد الخضوع للحديد، أما الطول غير الملتهم فيعتمد على موقع الطبقة التي يتم فيها التثبيت والسلوك العام للمنشأة ويجب أن يكون الطول L_L بطريقة تكون فيها مؤنة الحنن البصيلي خارج كتلة التربة والتي تقترن بانهايار المنشأة. وتدرس هذه النقطة بالأخذ في الاعتبار انقلاب أو انزلاق منشأة جدار استنادي أو رفع حصيرة معرضة لضغط هيدروستاتيكي.

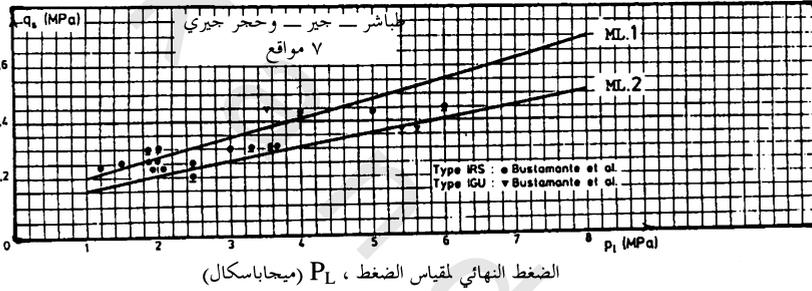
تتضمن الخطوة الثالثة تقدير طول الالتحام، وهذا يتم كالتالي :

الإحتكاك السطحي، q_s (ميغاباسكال)



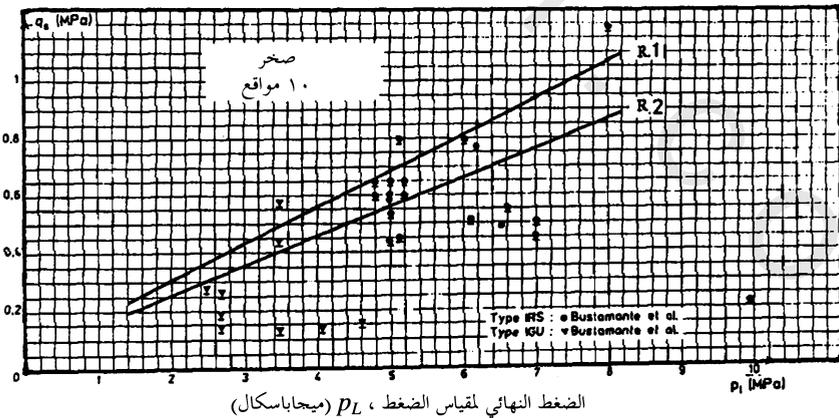
شكل رقم (١٣٧). العلاقات للتربة الطينية والطينية (after Bustamante and Doix, 1985).

الإحتكاك السطحي، q_s (ميغاباسكال)



شكل رقم (١٣٨). العلاقات للحجر الكلسي الطباشيري، الطين الجيري والحجر الجيري (from Bustamante and Doix, 1985).

الإحتكاك السطحي، q_s (ميغاباسكال)



شكل رقم (١٣٩). العلاقات للصخور الجوية (from Bustamante and Doix, 1985).

(١٣,٣,١) تحديد الحمل الأقصى الضروري T_L *Determine the necessary ultimate load T_L*

(٣٥٨)
$$T_L = T_A \times F$$

حيث إن T_A هو حمل التشغيل الذي يقاوم من قبل المثبت و F هو معامل الأمان والذي يؤخذ ١,٨ للمثبت المؤقت و ٢ للمثبت الدائم.

(١٣,٣,٢) تقدير قطر مونة الحقن البصيلي D_s *Determine the diameter D_s of the grout bulb*

(٣٥٩)
$$D_s = \alpha D_d$$

حيث إن α هو معامل معطى في الجدول رقم (٣٠) و D_d هو قطر ثقب الحفر.

(١٣, ٣, ٣) تقدير وحدة الاحتكام السطحي الأقصى q_s *Determine the ultimate unit skin friction*

يتم اختيار منحنى التصميم المناسب من الأشكال أرقام (١٣٦ – ١٣٩) باستخدام جدول رقم (٣١) للتربة وطريقة الحقن المستخدمتين، حيث إن هذه المنحنيات تربط q_s بـ p_L وتقرأ قيمة q_s المناظرة لقيمة p_L المقاسة من منحنى التصميم، مع ملاحظة أن قيمة q_s عند سطح التماس بين القضيب الفولاذي سابق الإجهاد ومونة الحقن تتراوح عادة ما بين ١ و ٢ ميجا باسكال ومن الممكن أن تزيد هذه القيمة فيما لو كان القضيب الفولاذي متموجاً أو منكسراً.

(١٣,٣,٤) حساب طول الالتحام L_s *Calculate bond length L_s*

(٣٦٠)
$$L_s = \frac{T_L}{\pi D_s q_s}$$

لو اجتازت مؤنة الحقن البصيلي عدة طبقات لها قيم مختلفة من q_s فإن قيمة L_s تحسب كالتالي:

جدول رقم (٣٠). قيم المعامل α لحساب قطر بصلة المونة (after Bustamante & Doix, 1985).

أقل كمية مقترحة من المونة V_f	المعامل α (coefficient)		التربة
	IGU**	IRS*	
$V_s^* ١,٥$	١,٣ إلى ١,٤	١,٨	حصى حصى رملي رمل حصوي رمل خشن رمل متوسط الخشونة رمل ناعم رمل طمي
$V_s ١,٥$	١,٤ إلى ١,٢	١,٨ إلى ١,٦	
$V_s ١,٥$	١,٣ إلى ١,٢	١,٦ إلى ١,٥	
$V_s ١,٥$	١,٢ إلى ١,١	١,٥ إلى ١,٤	
$V_s ١,٥$	١,٢ إلى ١,١	١,٥ إلى ١,٤	
$V_s ١,٥$	١,٢ إلى ١,١	١,٥ إلى ١,٤	
IRS ل $V_s ٢$ إلى ١,٥ IGU ل $V_s ١,٥$	١,٢ إلى ١,١	١,٥ إلى ١,٤	
IRS ل $V_s ٢$ IGU ل $V_s ١,٥$	١,١ إلى ١,٢	١,٤ إلى ١,٦	طمي
IRS ل $V_s ٣$ إلى ٢,٥ IGU ل $V_s ٢$ إلى ١,٥	١,٢	١,٨ إلى ٢	طين
١,٥ إلى ٢ ل V_s لطبقة مدكوكة	١,١ إلى ١,٢	١,٨	طين جيري طين جيري وصخر جيري طباشير مجوي
٢ إلى ٦ ل V_s أو أكثر لو كانت الطبقة متشققة	١,١ إلى ١,٢	١,٨	
١,١ إلى ١,٥ ل V_s لو كان للطبقة تشققات بسيطة $V_s ٢$ أو أكثر لو كانت الطبقة متشققة	١,١	١,٢	صخر مجوي
* عند $p_i \geq p_l$			V_s : حجم بصلة (bulb) المونة
** عند $0.5 p_l < p_i < p_l$			IRS : حقن : المتكرر والمختار
			IGU : حقن : الشامل والموحد

جدول رقم (٣١). اختيار منحني وحدة الاحتكاك السطحي الأقصى q_s (after Bustamante & Doix, 1985).

طريقة الحقن		التربة
IGU**	IRS*	
SG.2	SG.1	حصى حصى رملي رمل حصوي رمل خشن رمل متوسط الخشونة رمل ناعم رمل طمبي
CS.2	CS.1	طمي طين
ML.2	ML.1	طين جيري طين جيري وصخر جيري طباشير مجوي
$\geq R.2$	$\geq R.1$	صخر مجوي
* عند $p_1 \geq p_i$ ** عند $0.5 p_1 < p_i < p_1$		

(٣٦١)

$$T_L = \sum_i \pi D_{si} q_{si} L_{si}$$

وكذلك

(٣٦٢)

$$L_s = \sum_i L_{si}$$

حيث إن L_{si} ، q_{si} ، D_{si} هي قيم L_s ، q_s ، D_s لطبقات متعددة.

(١٣، ٤) دقة و محدودية الطريقة

PRECISION AND LIMITATIONS OF THE METHOD

يمكن تقييم دقة الطريقة بسهولة وذلك بفحص أو معاينة الرسم البياني ل q_s مقابل p_L ويجب أن تضع في الاعتبار أن نقاط البيانات الموضحة هي النقاط المستخدمة لإنشاء منحنيات التصميم. ترتبط قيم α المستخدمة للحصول على قطر مؤنة الحقن البصلي مباشرة بطريقة الحقن المقترحة. ويجب الالتزام بالطرق الإرشادية لحقن حجم المؤنة V_i (جدول رقم ٣٠) وذلك لأجل استخدام قيم α المناظرة. ونلاحظ أن الحجم V_i أكبر من الحجم الابتدائي للبصيلة V_s ($V_s = L_s D_d$) ويبين جدول رقم (٣٠) الحد الأدنى للقيم المقترحة. وقد تم تطوير قيم α لمؤنة الحقن عند نسبة الماء إلى الأسمنت من ٠.٤٢ إلى ٠.٦٧.

تعتبر وحدة الاحتكاك السطحي q_s صحيحة لمجموعة المعاملات التابعة للمثبتات المختبرة. وتتغير أقطار هذه المثبتات ما بين ٩٥ ملم و ٢٤٢ ملم. أما الطول الملتحم فيتغير ما بين ٥ م و ١٨ م. ويتغير الميل مع الأفق بين ١٥° و ٤٥° وقد كانت مؤنة الحقن دائماً على الأقل خمسة أمتار تحت سطح الأرض. تعتبر الاختبارات المستخدمة في قاعدة البيانات بأنها اختبارات أولية أجريت في موقع المشروع، حيث كانت المسافات بين المثبتات تتغير ما بين ١,٦ و ٣,٨ متر، أما الصخور المختبرة فقد كانت كلها حجر جيرى وحجر رملي.